

Majalah Industri

ISSN. 0125-9733

# Konstruksi

konsultan, kontraktor, bahan dan alat

.. 229 - Juni 1996

Rp 5.000,-

## UU Bangunan Gedung Sebagai Payung





# Aplikasi Jet Grouting

Untuk terowongan dan galian dalam di tanah lunak.

Kemacetan lalu lintas semakin menjadi topik pembicaraan utama para karyawan, pengusaha, pelajar, dan siapa pun yang setiap hari harus pergi dari rumah kediamannya, khususnya yang berada di wilayah Jabotabek. Hal itu, disebabkan lalu lintas di Jakarta kian hari kian padat. Jarak yang seharusnya dapat ditempuh dalam 20 menit bila tidak macet, namun saat jam sibuk dapat memakan waktu lebih dari satu jam.

Tentunya hal itu, sangat tidak efisien dan tidak ekonomis. Pembangunan jalan baru, selalu kalah cepat dengan pertumbuhan jumlah kendaraan. Agaknya pembangunan kereta api bawah tanah (*subway*), menjadi tidak terelakkan.

Pembangunan jaringan kereta api bawah tanah, akan melibatkan pekerjaan galian dan pembuatan terowongan, yang dapat mencapai kedalaman belasan, bahkan puluhan meter ke dalam tanah. Penggalian dan pembuatan terowongan di daerah yang padat, terutama di daerah bertanah lunak, dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan yang ada. Agar penggalian dan pembuatan terowongan dapat berlangsung dengan baik, serta untuk menghindari terjadinya gangguan dan kerusakan pada struktur yang ada, diperlukan teknik stabilisasi tanah. Antara lain, teknik *grouting* atau teknik injeksi.

"Grouting, merupakan proses menginjeksikan suatu material cair, baik berupa suspensi atau larutan ke dalam tanah atau batuan dengan tujuan mengurangi permeabilitas, meningkatkan kuat geser, dan mengurangi kompresibilitas. Bahan grout suspensi, umumnya menggunakan material berupa : bentonit, semen, kapur, emulsi asphalt dan lain-lain. Sedangkan



Ir. Gouw Tjie Liong M.Eng

bahan grout larutan, biasanya berupa bahan kimia-wi," jelas Ir. Gouw Tjie Liong M.Eng - Direktur Teknik. PT Solifindo Geoteknika Mas Indonesia.

Diutarakannya, teknik grouting ini dapat diklasifikasikan ke dalam empat golongan, terdiri dari : 1) Permeation Grouting, 2) Compaction Grouting, 3) Hydrofracturing, dan 4) Jet Grouting. Namun dalam tulisan ini, hanya membahas aplikasi Jet Grouting untuk

galian dalam dan terowongan.

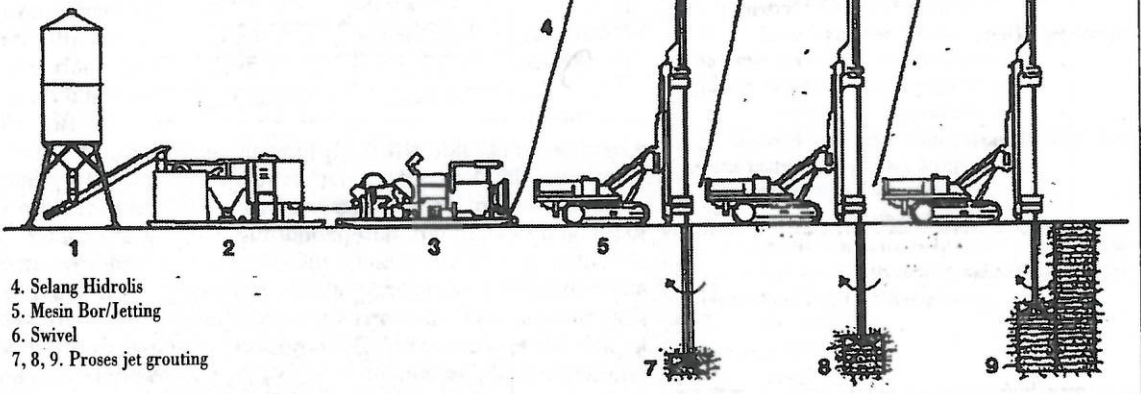
Pelaksanaan Jet Grouting, dengan cara bahan grout diinjeksikan ke dalam tanah, dengan menggunakan teknik jetting yang bertekanan antara 100 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 800 kg/cm<sup>2</sup>. Teknik ini, meliputi pemecahan (*fracturing*), dan pencampuran tanah setempat dengan bahan grout. Bila perlu, tanah dapat didorong ke

kan dengan menyemprotkan air dan udara bertekanan tinggi. Air keluar lewat nosel di ujung mata jet, 2) Setelah pemboran selesai, ujung mata jet ditutup, bahan grout yang umumnya berupa semen dipompakan dengan tekanan tinggi sekitar 200 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 800 kg/cm<sup>2</sup>, dan keluar melalui nosel di tepi mata jet. Stang bor diputar dengan kecepatan putaran tertentu, sambil perlahan-lahan ditarik ke atas. Tergantung dari kecepatan putaran dan penarikan stang bor, semprotan jet bahan grout ini akan memecah dan mencampur, atau menggantikan tanah dengan bahan grout. Terbentuklah suatu kolom semen-tanah atau kolom semen.

Dijelaskannya, tergantung dari proses dan jumlah jenis material yang dipakai dalam pelaksanaan, Jet Grouting umumnya dikategorikan ke dalam tiga sistem, terdiri dari : 1) Injeksi Tunggal (*Single Injection System*), di sini hanya digunakan satu material, yakni langsung menggunakan bahan grout, yang sekaligus berfungsi sebagai bahan pemecah dan bahan stabilisasi tanah. Pemboran dilakukan dengan menyemprotkan air berkecepatan tinggi, melalui nosel di ujung mata jet. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan, stabilisasi tanah dimulai dengan menginjek-

Keterangan gambar:

1. Silo (penampungan bahan grout-semen)
2. Mixer (pengaduk bahan grout)
3. Pompa Bertekanan Tinggi (hingga 800 kg/cm<sup>2</sup> dan kompresor (kapasitas 2400 l/menit pada tekanan 12 kg/cm<sup>2</sup>)



Peralatan Jet Grouting dan susunannya.

luar, dan digantikan sebagian atau sepenuhnya dengan bahan grout. Sehingga, akan terbentuk kolom-kolom semen berkekuatan geser/tekan yang besar.

## Sistem pelaksanaan Jet Grouting

Menurut Gouw, pelaksanaan Jet Grouting dilakukan dengan urutan-urutan sebagai berikut : 1) Pemboran dilaku-

sikan bahan grout melalui nosel tepi, dari batang bor tunggal.

Diameter kolom yang dihasilkan oleh sistem injeksi tunggal ini, bervariasi antara 40 sampai dengan 60 cm untuk tanah kohesif, dan 50 sampai dengan 120 cm untuk tanah granular. Hasil akhir sangat terpengaruh oleh kekuatan tekan dan kecepatan aliran yang dihasilkan oleh



pompa grouting. Umumnya, kecepatan alir bahan grout pada sistem ini, adalah antara 150 sampai dengan 475 lt/menit, pada tekanan 600 kg/cm<sup>2</sup>. Dibandingkan dengan dua sistem lain, yang diterangkan kemudian untuk persatuan semen/volume tanah yang sama, kolom semen yang dihasilkan sistem ini paling keras, 2) Injeksi Ganda (*Double Injection System*), dalam proses stabilisasi diinjeksikan dua jenis material, yaitu bahan grout dan udara, atau air.

Menurut Gouw, sistem injeksi ganda ini, dibedakan lagi atas dua varian, yakni sistem injeksi konsentris dan sistem injeksi tidak konsentris. Sistem injeksi ganda konsentris, proses pemboran sama dengan sistem injeksi tunggal. Proses stabilisasi dilakukan dengan menginjeksikan bahan grout dan udara, secara bersamaan melalui nosel ganda yang konsentris, dari batang bor ganda yang konsentris pula. Sistem ini menghasilkan kolom semen yang berdiameter lebih kurang dua kali hasil sistem injeksi tunggal.

Tabel 3 Jenis Semen Yang Sering Dipakai

| Tipe                 | Kuat Tekan | Tujuan  | Contoh Aplikasi   |
|----------------------|------------|---|---|
| Semen Cepat Mengeras | Sedang     | Mempercepat setting, meningkatkan daya dukung dan kedap air | Perbaikan tanah Mengontrol air di dalam pori-pori tanah, tanggul dan reservoir. |
| Semen PC             | Tinggi     | Kuat Tekan tinggi, meningkatkan daya dukung dan kedap air   | Perbaikan tanah Peningkatan daya dukung pondasi.                                |
| Semen                | Rendah     | Mengontrol kuat tekan, memperkuat tanah dan kedap air       | Perlindungan terhadap erosi dan abrasi  |
| Semen Spesial        | Rendah     | Memperkuat humus dan mengusir air                           | Perbaikan tanah humus (peat) misalnya untuk melindungi pipa                     |

"Hal itu dimungkinkan, karena tekanan udara yang diinjeksikan bersamaan dengan bahan grout, berfungsi sebagai penyangga antara semprotan bahan grout dengan air tanah. Dengan adanya penyangga udara ini, tanah yang terpotong oleh proses jetting, tidak akan bercampur dengan bahan grout dan lumpur, yang dihasilkan lebih mudah terdorong keluar oleh adanya gelembung udara dan tekanan udara," tutur Gouw. Kelemahan sistem

Tabel 1 Diameter Efektif Jet Grouting untuk Tanah Kohesif

| Kohesi (t/m <sup>2</sup> )                    | c<1  | 1 ≤ c<3 | 3 ≤ c<5 |
|---|--|---------|---------|
| Diameter Efektif untuk Kedalaman Maximum 20 m | 800mm  | 700 mm  | 500 mm  |
| Kecepatan Angkat Stang Bor (menit/m)          | 3  | 4       | 6       |
| Kecepatan(v) dan Tekanan(P) Injeksi           | P = 200 kg/cm <sup>2</sup><br>v = 80 l/menit |         |         |

catatan: untuk kedalaman lebih dari 20 m sebaiknya dilakukan uji coba terlebih dahulu.

ini, adanya kandungan udara dari kolom semen yang dihasilkan. Akibatnya, kuat tekan dan kuat geser kolom yang dihasilkan, lebih rendah dari sistem injeksi tunggal.

Pada sistem injeksi ganda non konsentris, proses stabilisasi dilakukan dengan menginjeksikan bahan grout dan air secara bersamaan melalui nosel yang berbeda, dari batang ganda yang konsentris. Bahan grout diinjeksikan dari nosel tepi,

Tabel 4 Beberapa Komposisi Standar Material (per m<sup>3</sup> Grout)

|                        |          |            |
|------------------------|----------|------------|
| A<br>Kuat Tekan Tinggi | Semen    | 760 kg     |
|                        | Additive | 12 kg      |
|                        | Air      | 750 l      |
| B<br>Kuat Tekan Sedang | Semen    | 400-500 kg |
|                        | Additive | 2-4 kg     |
|                        | Air      | 470 l      |
|                        | Pengisi  | 100-200 kg |
| C<br>Kuat Tekan Rendah | Semen    | 300 kg     |
|                        | Additive | 4.5 kg     |
|                        | Air      | 750 l      |
|                        | Pengisi  | 400 kg     |

yang berada sedikit di bawah (dan di sisi yang berbeda) dari nosel yang menginjeksikan air. Di sini air berfungsi sebagai pemotong lapisan tanah, dan pendorong hasil potongan tanah. Sistem ini menghasilkan diameter kolom yang lebih kecil dari sistem injeksi ganda konsentris. Namun kepadatan kolom lebih baik, karena tidak ada udara di dalam kolom.

3) Injeksi Tripel (*Triple Injection System*), pada sistem injeksi tripel ini, air dan udara digunakan secara bersamaan untuk memecah tanah dan membilas. Air dan udara ini diinjeksikan melalui nosel ganda yang konsentris, dimana pada saat bersamaan bahan grout juga diinjeksikan melalui nosel lain, yang berada sedikit di bawah nosel udara dan air. Ketiga material tersebut, diinjeksikan secara simultan melalui batang bor triplet. Sistem ini, dapat menggantikan seluruh tanah yang

Tabel 2 Diameter Efektif Jet Grouting untuk Tanah Non Kohesif

| Nilai N SPT                                   | N<10   | 10 ≤ N<20 | 20 ≤ N<30 |
|---|--|-----------|-----------|
| Diameter Efektif untuk Kedalaman Maximum 20 m | 700mm  | 500 mm    | 300 mm    |
| Kecepatan Angkat Stang Bor (menit/m)          | 4  | 6         | 8         |
| Kecepatan dan Tekanan Injeksi                 | Kecepatan = 80 l/menit<br>Tekanan = 200 kg/cm <sup>2</sup> |           |           |

catatan: untuk kedalaman lebih dari 20 m sebaiknya dilakukan uji coba terlebih dahulu.

dipotong oleh proses jetting dengan bahan grout (full replacement). Dengan demikian, akan dihasilkan suatu kolom semen yang homogen. Dibandingkan dengan dua sistem terdahulu, sistem ini menghasilkan diameter kolom yang terbesar. Untuk tanah kohesif, diameter yang dihasilkan dapat mencapai 150 cm, dan untuk tanah non kohesif dapat mencapai 200 cm.

### Formasi Jet Grouting

"Susunan atau formasi titik-titik stabilisasi tanah tergantung dari tujuan Jet Grouting dan jenis bangunan yang akan didirikan," tutur Gouw. Dijelaskannya, teknik Jet Grouting ini sangat fleksibel, dalam arti kata dapat diaplikasikan untuk berbagai bentuk geometris. Misalnya, bentuk strip yang menerus dapat dibentuk dengan membuat kolom-kolom yang saling overlap. Kolom-kolom dapat dibentuk satu baris ataupun dua baris. Diterapkan untuk membuat dinding penahan tanah atau dinding kedap air (*cut off wall*) untuk pengendalian air tanah.

Bentuk blok dimana satu kolom dengan kolom lain dapat dibuat berjarak tertentu, bersinggungan atau overlap. Terapkan untuk meningkatkan daya dukung tanah struktur pondasi, mencegah terjadinya *heaving*, mencegah boiling, sebagai *water proofing* pada galian dalam tanah lunak, atau memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah dalam pembuatan terowongan. Kolom-kolom horizontal, diterapkan untuk perkuatan/stabilisasi tanah pada saat pembuatan terowongan. Diameter efektif kolom hasil jet grouting, tergantung kepada kondisi tanah dan tekanan injeksi (jetting).

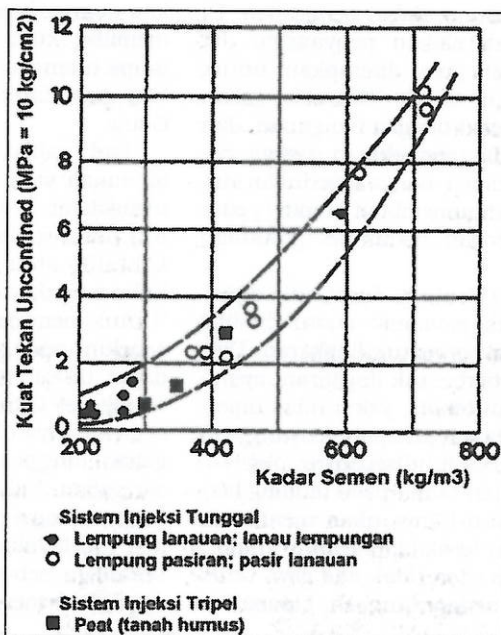
"Material dasar yang digunakan dalam pelaksanaan Jet Grouting adalah campuran semen dan air, yang ditambah oleh bahan pengisi dan additive (hardener)," jelas Gouw. Menurutnnya, peralatan utama jet grouting terdiri dari silo, mixer, pompa, kompresor, dan mesin bor. Karena peralatan



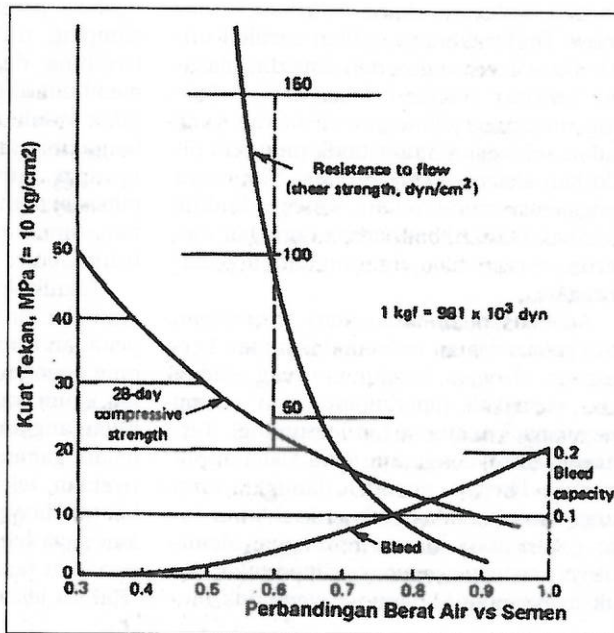
an jet grouting ini canggih, fleksibel, komputerisasi, dan otomatis (terutama peralatan pompa tekan dan mesin bornya), pengoperasiannya dapat diatur sedemikian rupa untuk memenuhi kriteria perencanaan yang diinginkan. Pengaturan yang dimaksud, adalah mengatur tekanan injeksi, waktu injeksi, diameter nosel, kecepatan rotasi saat injeksi dan kekentalan (kepadatan) material grout. Hal tersebut, menyebabkan teknik ini dapat diaplikasikan relatif pada berbagai persoalan geoteknik.

### Aplikasi Jet Grouting

Penggalian terowongan pada tanah yang relatif lunak, dan bermuka air tanah tinggi, akan menimbulkan permasalahan kestabilan dan rembasan (aliran) air. Bila galian terowongan tidak terlalu dalam, dan masih dapat dijangkau peralatan jet grouting dengan efisien, proses stabilisasi dapat dilakukan dari permukaan tanah asli. Dalam hal ini, Jet Grouting dilakukan dengan membuat kolom-kolom vertikal yang saling overlap. Tujuan Jet Grouting, mengatasi masalah kestabilan galian



Kadar semen vs Kuat tekan



Kuat tekan vs Perbandingan berat air/semen

terowongan dan sebagai penyekat kedap air (*waterproofing*).

"Permasalahan lain dalam pembuatan terowongan, adalah deformasi dinding karena kehilangan tegangan atau stress release akibat penggalian. Jet Grouting dapat diaplikasikan, dengan membuat perkuatan-perkuatan pada posisi dan kemiringan tertentu dari dalam terowongan," ungkap Gouw. Menurutnya, bilamana per-

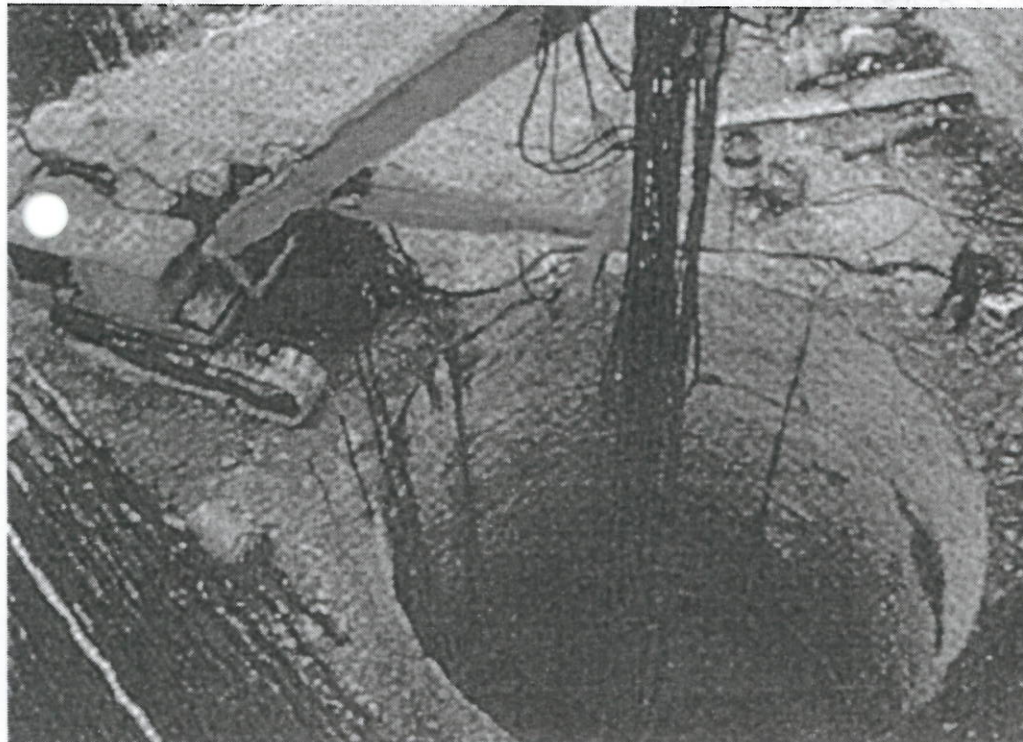
lu kolom hasil Jet Grouting dapat pula dipasang tulangan tarik. Dan tujuan Jet Grouting, untuk membatasi deformasi dinding terowongan.

Diutarakannya, akibat tekanan tanah di atas galian terowongan, atap terowongan cenderung akan mengalami deformasi. Dan bila kuat geser tanah tidak cukup, atap terowongan dapat mengalami keruntuhan. Untuk memperkuat atap terowongan

tersebut, Jet Grouting dapat diaplikasikan secara relatif horisontal, dengan kemiringan yang kecil dari dalam terowongan. Perkuatan dilakukan pada bagian yang akan digali.

Penggalian terowongan di bawah lereng, dapat membahayakan kestabilan lereng tersebut, juga akan berakibat rusaknya terowongan yang dibangun. Bila perlu pada bagian bawah terowongan, dapat pula dilakukan Jet Grouting untuk meningkatkan kuat geser tanah. Dalam hal ini, Jet Grouting dilakukan dari kedalaman tertentu hingga elevasi rencana dasar terowongan, tidak perlu dilakukan hingga ke atas permukaan lereng. Perbaikan tanah dengan Jet Grouting dapat direncanakan dan dilakukan pada spot-spot tertentu di dalam tanah.

"Sebelum pembuatan terowongan dimulai, diperlukan penggalian vertikal ke dalam tanah, hingga elevasi dimana awal terowongan akan dimulai. Selain pada titik awal galian vertikal sejenis, juga diperlukan pada tempat dimana stasiun-



Proses stabilisasi dasar suatu galian.

ISTIMEWA



stasiun subway akan didirikan," ujar Gouw. Diutarakannya, galian vertikal untuk akses terowongan dan stasiun, biasanya berkisar sekitar belasan meter. Subway umumnya dibangun di daerah yang padat, sehingga hampir tidak mungkin dilakukan sistem galian terbuka. Umumnya penggalian memerlukan sistem dinding penahan tanah, baik berupa tiang bor menerus, turap baja, ataupun dinding diafragma.

Apabila pembuatan suatu terowongan atau galian dalam, terletak dekat atau berbatasan dengan bangunan yang sudah ada, seringkali diperlukan suatu sistem penyangga bangunan (*underpinning*). Terutama untuk bangunan yang sistem pondasinya berupa pondasi dangkal, atau yang dasar pondasinya berada di atas dasar galian atau dasar terowongan. Menurut itu, sistem penyangga diperlukan untuk menunjang bangunan agar tidak me-

ngalami penurunan akibat penggalian. Di samping untuk sistem penyangga, Jet Grouting dapat pula diterapkan untuk membuat angkur tanah. "Bilamana galian tidak terlalu dekat dengan bangunan, dan bangunan tidak memerlukan sistem penyangga, umumnya hanya diperlukan stabilisasi tanah atau membuat dinding penahan tanah dengan teknik jet grouting," tutur Gouw.

Teknik Jet Grouting, dapat pula dipergunakan untuk membuat suatu dinding penahan tanah berbentuk lingkaran. Dinding penahan berbentuk lingkaran, memiliki keuntungan teknis, yakni tidak diperlukan angkur tanah ataupun penyangga di dalam galian. Hal ini disebabkan oleh kenyataan, tekanan tanah pada dinding berbentuk lingkaran hanya akan menimbulkan gaya tekan terhadap struktur dinding penahan tanah, dan tidak ada gaya tarik. "Hal itu jelas menguntungkan, karena ko-

lom semen hasil Jet Grouting umumnya memiliki kuat tekan yang besar tetapi tanpa tulangan, praktis tidak dapat menahan gaya tarik atau momen lentur," ujar Gouw.

Pada galian yang dalam, dengan muka air tanah yang tinggi, dasar galian dapat mengalami *heaving* (fenomena terangkatnya dasar galian yang terjadi pada tanah kohesif), atau *boiling* (fenomena membuburnya dasar galian pada tanah pasir). "Untuk mencegah terjadinya efek tersebut, sebelum penggalian dimulai, dasar galian dapat distabilisasi dengan menggunakan teknik Jet Grouting. Dalam hal ini kolom semen hanya dibentuk dari rencana dasar galian, hingga kedalaman tertentu dari dasar galian. Kolom Jet Grouting, akan berfungsi sebagai pencegah *heaving* atau *boiling*, meniadakan rembesan (*seepage*) dan sekaligus sebagai penyangga (*strutting*)," ujar Gouw mengakhiri. ■ Umi Suswati

## Pentingnya mengikuti prosedur kerja

Beberapa keruntuhan struktur terjadi di akhir-akhir ini, baik itu pada struktur beton atau struktur baja. Keruntuhan yang mengakibatkan korban jiwa membuat kita prihatin. Tetapi keprihatinan itu bertambah, setelah hasil dari penyelidikan dari keruntuhan tersebut, diakibatkan oleh kesalahan prosedur teknik.

Kita masih ingat keruntuhan yang terjadi di jembatan layang Grogol yang menelan korban jiwa. Keruntuhan yang terjadi Di PT Semen Nusantara Cilacap yang juga menelan korban jiwa. Menanggapi keruntuhan tersebut, para pakar di bidang beton dan baja sama-sama menekankan, pentingnya mengikuti prosedur teknik dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi, baik itu konstruksi beton atau konstruksi baja.

Beton merupakan material yang amat getas, artinya amat peka terhadap tegangan tarik (defleksi), sehingga begitu ada defleksi akan mudah retak sehingga bisa mengakibatkan keruntuhan. Apabila terjadi retak akan sulit untuk menolongnya, jelas DR Ir. Patana Rantetoding, M. Sc Kepala Pusat Litbang Jalan Departemen Pekerjaan Umum memulai wawancara dengan Konstruksi.

Patana melanjutkan uraiannya bahwa,

sifat beton amat baik terhadap tekan, tetapi tidak baik terhadap tarik. Lalunya dijelaskan dua jenis konstruksi beton. Pertama, konstruksi konvensional. Pada bagian yang akan tertarik, nantinya diimbangi dengan menggunakan tulangan sebagai bahan yang bisa menahan gaya tarik. Kedua, *prestressed concrete* atau konstruksi beton pratekan. Prinsip dari pratekan dapat diterangkan sebagai berikut : Bagian yang akan tertarik diberi gaya tekan supaya menjadi netral. Bagian yang akan tertekan, diberi gaya tekan hanya sekecil mungkin, supaya nantinya gaya tekan yang bekerja masih di bawah yang diizinkan.

Dalam pratekan sudah diperhitungkan beban sendiri beton yang relatif besar, beban hidup seperti beban lalu lintas. *Prestressing* akan memberikan kekuatan kepada konstruksi. Dengan kata lain yang akan memegang bagian konstruksi adalah *prestress* itu.

Mengenai perencanaan jembatan, Patana menguraikan, umur rencana suatu jembatan permanen, umumnya diambil 50 tahun dengan persyaratan tanpa beban berlebih dari rencana dan dengan pemeliharaan yang memadai. Akan tetapi, apabila suatu jembatan mempunyai nilai strategis yang tinggi, maka jembatan tersebut

direncanakan untuk dapat tahan sampai 100 tahun, urai Patana.

Dari segi beban, maka konstruksi jembatan direncanakan untuk tahan memikul beban dari iring-iringan kendaraan berat (truk) yang sekaligus berada di atas jembatan. Berat dari iring-iringan kendaraan tersebut diekivalensikan menjadi muatan merata sebesar 8 kPa (0,8 t/m<sup>2</sup>) dan muatan garis sebesar 4,4 t/m lebar jembatan. Demikian pula pelat lantai kendaraan direncanakan untuk sanggup memikul beban as truk seberat 200 kN (20 ton) atau berat roda 100 kN (10 ton). Di samping itu diperhitungkan beban dinamis, akibat kejutan kendaraan dan gempa.

### Pentingnya prosedur kerja

Patana menjelaskan, untuk konstruksi pratekan, prosedur atau urutan tahapan sangat menentukan karena hal tersebut sama pentingnya dengan kualitas. Untuk mengamankan desain supaya jadi benar, dibuatkan langkah-langkah yang harus diikuti. Jadi kalau langkah dan prosedur itu sudah diikuti, hal tersebut merupakan tindakan penyelamatan untuk keamanan beton.

Maksud dari prosedur serta langkah-langkah yang terdapat pada dokumen kontrak adalah untuk mencapai mutu yang diinginkan. Hal tersebut juga untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Prosedur tersebut diatur sedemikian rupa, sesuai dengan kebutuhan teknis.

Mengambil contoh kegagalan konstruksi beton pratekan yang terjadi di jembatan Grogol. Seperti yang diketahui keruntuhan tersebut terjadi karena kesalahan